

化工装置管式炉烟气脱硫脱硝工艺探讨优化

牛敬超 尹祖建 (邢台旭阳科技有限公司, 河北 邢台 054000)

摘要: 管式加热炉是石油化工、煤化工、焦油加工、原油输送等工业中使用的工艺加热炉, 几乎每套炼油和石油化工装置都有管式炉。管式炉排放的尾气中含有大量 SO_2 和 NO_x , 直接排放会引起酸雨、光化学烟雾、臭氧层破坏和雾霾等一系列环境问题^[1]。控制 SO_2 和 NO_x 排放是我国目前环境治理的重点和难点。因此, 开发适合管式炉脱硫脱硝技术, 对缓解环境污染具有重要意义。

关键词: 管式炉; 移动床干法脱硫; 烟气净化; SCR 脱硝; 工艺优化;

化工装置管式炉多采用焦炉煤气作为燃料, 烟气特点与焦炉烟气相似, 因此可参考焦炉烟气脱硫脱硝工艺。移动床干法脱硫 + SCR 脱硝一体化工艺是一种非常成熟的烟气脱硫脱硝技术, 广泛应用于焦炉烟气净化领域^[2], 在管式炉烟气净化中应用尚属首次, 本文对此进行了探讨及优化。

1 工艺选择

首先对干法脱硫、半干法脱硫、湿法脱硫工艺进行对比分析, 并实地考察了河北旭阳焦炉烟气湿法脱硫、中煤旭阳焦炉烟气半干法脱硫、河北华丰焦炉烟气移动床干法脱硫装置在焦炉烟气脱硫上的实际应用情况。

表 1 脱硫工艺对比

序号	对比项	移动床干法脱硫	半干法脱硫	湿法脱硫
1	脱硫效率	$\geq 90\%$	$\leq 90\%$	$\geq 95\%$
2	占地面积	小	大	较大
3	项目投资	低	较低	高
4	运行成本	较低	较低	低
5	后期维护	小	大	大

通过上表可见, 湿法脱硫的脱硫效率最高, 但是占地面积大, 需要配套消白装置, 投资较高, 设备腐蚀严重, 后期维护费用高; 半干法脱硫投资和运行费用较低, 但是脱硫率也较低, 占地面积大, 需要经常疏通更换滤袋, 后期维护工作量较大; 移动床干法脱硫在保证 90% 以上脱硫效率的同时, 还具有占地面积小、投资低、运行成本低、后期维护简单等优点^[3]。

烟气脱硝工艺主要有 SNCR、SCR 等工艺: SNCR 脱硝工艺具有一投资少、运行成本低、设备占地面积小、经济性高等优点, 但是脱硝效率只有 50%-80%, 无法满足日益严格的环保要求; SCR 法是国际上应用最多、技术最成熟的一种烟气脱硝技术, 该法的优点是反应温度较低, 净化率高, 可达 95% 以上; 工艺设备紧凑, 运行可靠, 还原后的氮气放空, 无二次污染^[4]。缺点是项目投资较大, 催化剂需要定期更换, 运行成本较高。

结合化工装置管式炉烟气特点, 最终选择了移动床干法脱硫 + SCR 脱硝一体化工艺。

2 工艺优化

移动床干法脱硫 + SCR 一体化工艺主要由烟道系统、移动床脱硫塔、SCR 脱硝反应器、喷氨系统、引风机等组成, 工艺流程如图 1。

由于化工装置管式炉烟气量较小, 所需配套脱硫脱硝装置体积很小, 通过装置优化, 将移动床脱硫塔与 SCR 脱硝反应器合二为一, 重新设计了脱硫脱硝一体塔, 一体塔

分为脱硫侧和脱硝侧, 进口位于一体塔脱硫侧下部, 出口位于一体塔脱硝侧底部, 顶部连通, 节约了设备投资及占地面积。

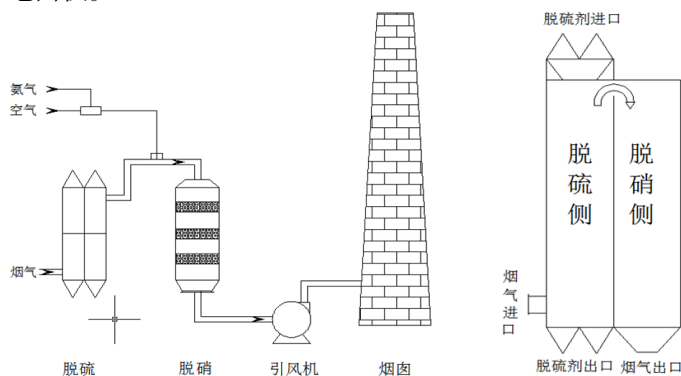


图 1 移动床干法脱硫 + SCR 一体化工艺简图

图 2 脱硫脱硝一体塔简图

相较于焦炉、电厂锅炉, 化工装置管式炉烟气量较小, 几千到几万标方不等, 单独上脱硫脱硝装置, 投资成本过高, 造成资源浪费, 化工厂一般都有几座甚至十几座管式炉同时运行, 为节省项目投资和操作难度, 我们将分布相对集中地几座管式炉共用一套脱硫脱硝装置, 进一步节省项目投资、减少操作人员, 降低了操作难度及装置后期检修维护工作量。

管式炉原烟气首先从脱硫脱硝一体塔脱硫侧底部进入, 自下而上与脱硫剂进行接触进行脱硫, 脱硫后的烟气有一体塔顶部进入脱硝侧, 自上而下经过 SCR 脱硝催化剂, 在催化剂作用下与喷氨系统喷入的还原剂进行反应, 达到脱硝的目的, 净化后的烟气由一体塔脱硝侧底部排出经引风机加压后进入原烟囱排放。

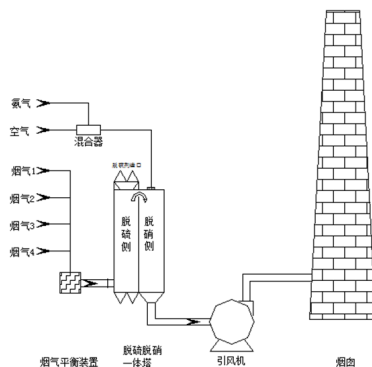


图 3 移动床干法脱硫 + SCR 一体化工艺优化简图

运行过程中发现多座管式炉共用一套脱硫脱硝装置存在压力难以平衡的问题, 每座管式炉烟气量、压力等操作条件不同, 当一座管式炉故障停工时, 总 (下转第 72 页)

$0.0078*BD-0.0010*CD-0.024A^2-0.016*B^2-0.043*C^2-0.048*D^2$ 。

方差分析结果见表3。本实验所建立的回归模型 $F=28.36$, $P<0.0001$, 达到极显著差异水平, 同时失拟误差 $P=0.5822>0.05$, 失拟误差不显著, 表明该模型有较高的可信度, 建立的模型回归系数 $R^2=0.9659$, $R^2_{Adj}=0.9319$, 说明该回归模型拟合度好, 自变量与响应值之间相关性显著, 模型具有良好的可行性, 可用于模拟预测楮实子黄酮提取率。对提取率影响程度的顺序为: $C>A>B>D$ 。

表3 回归模型方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	0.037	14	2.666×10^{-3}	28.36	<0.0001	**
A	1.485×10^{-3}	1	1.485×10^{-3}	15.80	0.0014	**
B	1.139×10^{-3}	1	1.139×10^{-3}	12.12	0.0037	**
C	1.750×10^{-3}	1	1.750×10^{-3}	18.62	0.0007	**
D	2.963×10^{-5}	1	2.963×10^{-5}	0.32	0.5833	
AB	5.556×10^{-5}	1	5.556×10^{-5}	0.59	0.4548	
AC	2.729×10^{-3}	1	2.729×10^{-3}	29.04	<0.0001	**
AD	6.305×10^{-5}	1	6.305×10^{-5}	67.08	<0.0001	**
BC	8.305×10^{-6}	1	8.305×10^{-6}	0.088	0.7706	
BD	2.453×10^{-4}	1	2.453×10^{-4}	2.61	0.1285	
CD	4.366×10^{-6}	1	4.366×10^{-6}	0.046	0.8325	
A ²	3.870×10^{-3}	1	3.870×10^{-3}	41.18	<0.0001	**
B ²	1.726×10^{-3}	1	1.726×10^{-3}	18.37	0.0008	**
C ²	0.012	1	0.012	128.48	<0.0001	**
D ²	0.015	1	0.015	160.73	<0.0001	**
残差	1.316×10^{-3}	14	9.399×10^{-5}			
失拟误差	9.197×10^{-4}	10	9.197×10^{-5}	0.93	0.5822	不显著
纯误差	3.962×10^{-4}	4	9.904×10^{-5}			
总和	0.039	28				

注: * 差异显著, $P<0.05$; ** 差异极显著, $P<0.01$; $R^2=0.9659$; $R^2_{Adj}=0.9319$ 。

2.4 响应面分析

由表2得到各因素交互作用的响应面图, 见图1。A与C, A与D, B与C的响应曲面较陡, 表明其相互作用对提取率影响强烈, 而B与D、A与B以及C与D的响应曲面较平缓, 影响较小。软件分析得出提取条件为液料比 55:1 (mL:g)、浸提时间 2.84h、浸提温度 71.44℃、乙醇体积分数 60.41%, 预测值为 0.3122%。考虑实际实验条件, 修订为液料比 55:1 (mL:g)、浸提时间 2.8h、浸提温度

71.5℃、乙醇体积分数 60%。3 次平行实验得平均提取率为 0.3071%, $RSD=0.82\%$ 。

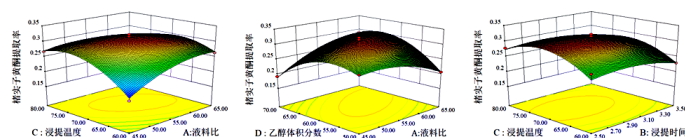


图1 各因素交互作用对楮实子黄酮提取率的响应面图

3 结论

最优提取条件为液料比 55:1 (mL:g)、浸提时间 2.8h、浸提温度 71.5℃、乙醇体积分数 60%, 提取率为 0.3071%。各因素对提取率影响为: 浸提温度>液料比>浸提时间>乙醇体积分数。试验结果为楮实子黄酮的制备提供参考, 并可为楮实子黄酮进一步的开发利用提供基础。

参考文献:

- [1] 张静, 王文林, 彭海燕. 中药楮实子的研究现状与展望 [J]. 中华中医药学刊, 2014, 32(1): 75-78.
- [2] 林少琴, 兰瑞芳. 构树果色素的分离提取及部分性质研究 [J]. 林产化工通讯, 2000(2): 9-12.
- [3] NAVEEN KUMAR N, RAMAKRISHNAIAH H, KRISHNA V, et al. Cytotoxic activity of Broussonetia papyrifera (L.) vent on MCF-7, HeLa and HepG2 cell lines [J]. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 2014, 6(5): 339-342.
- [4] LI Y, SHANG X, NIU W, et al. Inhibitory activity of the extract from Broussonetia papyrifera fruits to cellular lipid peroxidation in vitro [J]. Asian Journal of Chemistry, 2014, 26(1): 201-204.
- [5] 何晨阳, 刘明月, 时振伟, 等. 响应面法优化蛇莓花色苷浸提工艺及稳定性研究 [J]. 中草药, 2018, 49(8): 1829-1834.
- [6] 葛水莲, 陈建中, 刘娜, 等. 响应面优化大孔树脂纯化太行菊总黄酮及其降糖活性 [J]. 食品工业, 2020, 41(5): 107-111.

通讯作者:

李洋 (1983-), 男, 汉族, 河北唐山人, 研究生, 讲师, 研究方向天然产物的化学与药理作用。

基金项目: 华北理工大学大学生创新创业训练计划项目 (X2018019)

验, 具有重大推广意义。

参考文献:

- [1] 赵殿五. 氮氧化物的来源、危害及治理方法简介 [J]. 环境科学研究, 1977(02): 43-48.
- [2] 苗社华. 半干法脱硫+低温 SCR 脱硝一体化工艺在焦炉烟气净化中的应用 [J]. 科学技术, 2018(5): 157-158.
- [3] 冯金煌, 徐剑. 焦炉烟气净化工艺选择与工程实践 [J]. 宝钢技术, 2018(3): 22-26.
- [4] 王晓东. SCR 脱硝工艺的研究 [J]. 山西化工, 2018(05): 138-139.

作者简介:

牛敬超 (1987-), 男, 汉族, 河北邯郸人, 本科, 工程师, 邢台旭阳科技有限公司, 研究方向: 煤化工方向。

(上接第 70 页) 烟气量瞬间发生变化导致压力改变, 而风机又无法及时调节, 很容易造成其他管式炉压力波动, 触发安全连锁而紧急停车。所以需要安装一套压力平衡装置, 精确平衡各个管式炉压力, 当个别管式炉故障停工时, 压力平衡装置可以及时调整, 保证其他管式炉压力不受影响。

3 实际应用情况

邢台旭阳煤化工自采用移动床干法脱硫+SCR 脱硝一体化工艺以来, 装置运行稳定, 烟气指标良好, 净化后的烟气二氧化硫、氮氧化物、颗粒物可以长期稳定控制在 10mg/m³、30mg/m³、10mg/m³ 以下, 烟气指标好于预期, 实现管式炉烟气超低排放, 此工艺应用于化工装置管式炉烟气净化, 属行业首例, 为同行业烟气治理提供了全新方案及经